

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta materiálově-technologická

Katedra tváření materiálu

**Vliv podmínek kování a tepelného zpracování na jakost
železničních náprav**

**Influence of forging and heat treatment conditions on quality of
railway axles**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2019

Ondřej Kratochvíl

Zadání bakalářské práce

Student:

Ondřej Kratochvíl

Studijní program:

B2109 Metalurgické inženýrství

Studijní obor:

2109R038 Moderní metalurgické technologie

Téma:

Vliv podmínek kování a tepelného zpracování na jakost železničních
náprav
Influence of forging and heat treatment conditions on quality of railway
axles

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor – studium kování podélných výkovků s prevencí vzniku vad
2. Analýza vlivu podmínek kování a tepelného zpracování na tvorbu vad v železničních nápravách
3. Návrh a realizace opatření pro snížení tvorby vad
4. Vyhodnocení a diskuse výsledků

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] JÍLEK, L. Tvorba přeložek při kování. *Kovárenství*. 2014, (49), 12-17.
[2] ALTAN, T., G. NGAILE a G. SHEN. *Cold and Hot Forging: Fundamentals and Applications*. Materials Park Ohio: ASM International, 2005.
[3] GREGER, M., J. PETRŽELA, V. LÁSZLÓ, M. SUŠOVSKÝ, R. KAWULOK a O. KWARTENG. Progresivní technologie volného kování. *Kovárenství*. 2017, (60), 58-61.
[4] ZERBST, U., C. KLINGER, D. KLINGBEIL. Structural assessment of railway axles – A critical review. *Engineering Failure Analysis*. 2013, 35, 54-65.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Rostislav Kawulok, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jiří Weber

Datum zadání: 30.11.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



prof. Ing. Ivo Schindler, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|--|
| 1. Titulní list | 6. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky |
| 2. Originál zadání BP | 7. Obsah BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Textová část BP |
| 4. Prohlášení + místopřisežné prohlášení | 9. Seznam použité literatury |
| 5. Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby | 10. Přílohy |

- ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.
- ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.
- ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP.
- ad 4) Prohlášení + místopřisežné prohlášení napsané na zvláštním listu a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP.
- ad 5) V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právnickými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.
- ad 6) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.
- ad 7) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.
- ad 8) Textová část BP obvykle zahrnuje:
- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
 - Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
 - Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující doporučené úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 10).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatků ve způsobu vyjadřování, nedostatků gramatických, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 9) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků. Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690. Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 10) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahore: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta materiálově - technologická
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*


dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia Fakulty materiálově – technologické, Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2018/2019.

Ostrava 12. 11. 2018


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
Děkanka Fakulty materiálově – technologické
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě15.4.2019.....

.....*Oldřej Kratoch*.....
podpis (jméno a příjmení studenta)

PROHLÁŠENÍ ZÁSTUPCE SPOLUPRACUJÍCÍ PRÁVNICKÉ NEBO FYZICKÉ OSOBY

Bakalářská práce - Vliv podmínek kování a tepelného zpracování na jakost železničních náprav, Kratochvíl Ondřej vychází ze spolupráce s právníckou/fyzickou osobou, která si nepřeje být zveřejněna.

Zástupce spolupracující osoby podepsal souhlas se zveřejněním bakalářské práce Vliv podmínek kování a tepelného zpracování na jakost železničních náprav, Kratochvíl Ondřej požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských studijních programech VŠB - TU Ostrava, který je uložen u proděkana pro pedagogickou činnost FMT.



Dohoda o změně Dohody o umožnění zpracování absolventské práce

BONATRANS GROUP, a. s.
Revoluční 1234, 735 94 Bohumín,
IČ 27438678,
zastoupena: JUDr. Květuší Hrubou
manažer personalistiky

na straně jedné a

pan/paní: **Kratochvíl Ondřej**

bytem: Čs. Armády 267, 73581 Bohumín

na straně druhé se dohodli na změně Dohody o umožnění zpracování absolventské práce uzavřené dne 17.10.2018 v níže uvedeném rozsahu:

Konzultantem závěrečné práce je: Ing. Jiří Weber

Téma bakalářské práce: Vliv podmínek kování a tepelného zpracování na jakost železničních náprav

Ostatní body výše uvedené dohody se nemění.

V Bohumíně, dne 15.3.2019

 **BONATRANS**
BONATRANS GROUP a. s.
Revoluční 1234 - 735 94 Bohumín
IČ: 27438678 (12)

Za BONATRANS GROUP a.s.



Kratochvíl Ondřej



konzultant

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Rostislavu Kawulokovi, Ph.D. za odborné konzultace, cenné rady a vedení při zpracování této práce. Zároveň bych také chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Weberovi a Liborovi Kaizarovi za odborný dohled a pomoc při vypracování experimentů. Dále bych rád touto cestou poděkoval společnosti Bonatrans Group a.s., díky které jsem mohl experimenty realizovat, včetně zveřejnění získaných výsledků.

V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině a blízkým za podporu během mého studia.

ABSTRAKT

Kratochvíl, O. *Vliv podmínek kování a tepelného zpracování na jakost železničních náprav*. Ostrava: katedra tváření materiálu, VŠB-TU Ostrava, 2019. 41 s.

Bakalářská práce, vedoucí: Ing. Rostislav Kawulok, Ph.D.

Tato bakalářská práce je zaměřena na zhodnocení nejakosti výroby surových náprav se snahou snížení zmetkovitosti. Prozkoumává aspekty směřující k příčinám vzniku vad při výrobě železničních náprav ve firmě GHH-Bonatrans a.s. Úvodem této práce je stručný popis a historie firmy. Práce studuje veškeré operace, které mají přímý nebo nepřímý vliv na jakost výrobku, jako jsou náhřev vstupního materiálu v krokové ohřívací peci, manipulace s předvalky na dopravnících a manipulátorech, odokujnění, samotné kování náprav a tepelné zpracování náprav.

Klíčová slova: železniční náprava, odokujovací zařízení, kování, tepelné zpracování

ABSTRACT

Kratochvíl, O. *Influence of forging and heat treatment conditions on quality of railway axles*. Ostrava: Department of Material Forming, VŠB-Technical University of Ostrava, 2019. 41 s.

Bachelor thesis, head: Ing. Rostislav Kawulok, Ph.D.

This bachelor thesis is focused on the evaluation of the non-conformity in forging production of the axles with the effort to reduce a scrap rate. It examines aspects leading to the causes of defects during the production of railway axles at GHH-Bonatrans a.s. The introduction of this thesis is brief description and history of the company. The thesis studies all operation which have a direct or indirect influence on product quality such as heating of input material in the stepping furnace, manipulation of material on conveyors and manipulators, descaling process, forging and heat treatment of railway axles.

Key words: railway axles, descaling machine, forging, heat treatment

Obsah

1. ÚVOD	1
2. TEORETICKÁ ČÁST	2
2.1. Výroba železničních náprav ve společnosti GHH – BONATRANS a.s.	2
2.1.1. Materiálový tok a technologie výroby náprav	2
2.1.2. Ohřev materiálu	3
2.1.3. Kování náprav	4
2.1.4. Pálení konců náprav, značení	5
2.1.5. Tepelné zpracování železničních náprav	6
2.2. Tuzemská a světová výroba železničních náprav	8
2.2.1. Výroba železničních náprav v ČR	8
2.2.2. Světová výroba železničních náprav	9
2.2.3. Příčné klínové válcování železničních náprav	10
2.3. Stupeň prokování	11
2.4. Vznik a odstranění okují	11
2.4.1. Vznik okují	11
2.4.2. Odstranění okují	13
2.5. Zmetkovitost na kovárně železničních náprav v Bonatrans Group a.s.	13
2.5.1. Problematika zmetkovitosti	13
2.5.2. Popis vad	13
2.5.3. Příčiny vzniku vad a pozastavení výrobku	14
2.5.4. Přehled nejčastějších vad	16
3. CÍLE PRÁCE	18
4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	19
4.1. Měření teplot železničních náprav v krokových žíhacích pecích	19
4.1.1. Popis experimentu	19
4.1.2. Průběh měření	20
4.1.3. Určení teploty A_{c1} , A_{c3} pomocí programu QTSteel	20
4.1.4. Experimentální zařízení	21
4.2. Inovace hydraulického odokujňovacího zařízení	22
4.2.1. Původní odstraňování okují	22
4.2.2. Konstrukční úpravy nového odokujení	23
5. DISKUZE VÝSLEDKŮ	24
5.1. Vyhodnocení a porovnání výsledků při měření teplot železničních náprav	24
5.2. Austenitizace v celém průřezu nápravy	26

5.3. Snížení zmetkovitosti otlaků od okují.....	27
5.4. Další opatření ke snížení zmetkovitosti při výrobě železničních náprav.....	28
6. ZÁVĚR.....	29
Literatura.....	30

1. ÚVOD

Železniční doprava ve smyslu přepravy osob i nákladu stále patří mezi vysoce efektivní transportní možnosti. Už od 19. století, kdy bylo započato s budováním železnic, dochází neustále k jejímu rozvoji, který cílí především na zvyšování přepravních rychlostí, tak i zvyšování hmotností přepravovaných nákladů. Vývojem tedy prochází železniční svršky i samotné vozidla. Pro zvýšení rychlostí i hmotností přepravovaných nákladů je nutné se zaměřit na konkrétní části včetně podvozků vozidel. V případě vlaků je důležitým prvkem podvozku zejména železniční dvojkolí, které se skládá ze samotných železničních kol a nápravy. Oba tyto komponenty jsou nejčastěji vyráběny procesy objemového tváření za tepla (kování náprav a kování a válcování kol a obručí), čímž se dosahuje vyšších mechanických vlastností ve srovnání s konkurenční metodou slévárenství, se kterou se lze také setkat v případě produkce železničních kol.

Železniční dvojkolí jsou v České republice vyráběny v Bohumíně ve společnosti GHH – Bonatrans Group a.s. Tyto výrobky jsou expedovány do celého světa a patří tedy mezi špičkové výrobky i v porovnání se světovou konkurencí. Nicméně z důvodu rostoucích nároků zákazníků a zvyšování efektivity výroby dochází k optimalizacím stávajících výrobních procesů.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na snížení zmetkovitosti a tedy i optimalizaci procesu výroby náprav ve společnosti GHH – Bonatrans Group a.s. Teoretická část práce je věnována obecné charakteristice a technologii výroby železničních náprav především v mateřské firmě, ale také i v dalších podnicích. Navíc je v této pasáži věnována pozornost tvorbě okují na povrchu oceli, stanovení transformačních teplot A_{c1} a A_{c3} a navíc také možným vadám a jejich příčinám při výrobě železničních náprav. Experimentální část předložené práce je zaměřena na odstranění okují před kovááním a dále ověření nastavení teplotního režimu tepelného zpracování surových železničních náprav. Vyhodnocení příčin vzniku nejakosti bylo provedeno v letech 2017 až 2018.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Výroba železničních náprav ve společnosti GHH – BONATRANS a.s.

GHH – Bonatrans Group a.s. je jediný český a zároveň největší evropský výrobce železničních náprav, kol a dvojkolí. Společnost zaměstnává přes 1500 zaměstnanců, díky kterým společnost každým rokem prosperuje. Firma vyrábí široký sortiment jednotlivých výrobků, které expeduje do více než 80 zemí celého světa. Začátek výroby se spustil roku 1965, kdy původní závod, který nesl název Železářny a drátovny Bohumín začal s produkcí železničních dvojkolí. Roku 1966 probíhala již plnohodnotná výroba válcovaných kol, obručí a na kovárně náprav proběhla výroba prvních náprav o rok později. V roce 1968, opustila brány společnosti první opracovaná kola, nápravy a zkompleťovaná železniční dvojkolí. [1]

Důležitým momentem v historii závodu bylo založení akciové společnosti BONATRANS a.s. dne 1. 10. 1999. Tímto datem se stává ze Závodu železniční dvojkolí nadnárodní společnost, která se postupem času dostává do čela evropských výrobců železničních dvojkolí. Svým rozvojem a snahou se dostávat na světové trhy pokračuje v trendu bývalých bohumínských železáren. [1]

2.1.1. Materiálový tok a technologie výroby náprav

Na pracovišti přípravy vsádky probíhá vstupní kontrola čtvercových bloků. Ocel, kterou používá společnost Bonatrans Group je vakuovaná kontinuálně odlitá do kontislitků o průměru 410 mm a 530 mm a následně převálcována do čtvercových předvalků, výjimečně do předvalků kruhových. Předním dodavatelem vstupního materiálu jsou Třinecké železářny a.s. Rozmezí průřezů vstupního materiálu je 150 x 150 mm – 300 x 300 mm. Na **obr. 1** můžeme vidět sklad převálcovaných bloků, které jsou loženy na sebe a označeny mimo ražení také etiketou, která obsahuje veškeré informace o daném bloku. [2]

Při vstupní kontrole jsou proměřeny rozměry průřezu a následně jsou posuzovány s předepsanými hodnotami, které musí bloky splňovat. Pracovníci přípravy vsádky dále kontrolují naražené číslo tavby, pořadové číslo, počet kusů předvalků a jakost. Tyto údaje jsou porovnávány s údaji na ložném listě vagónu. Dále pracovníci kontrolují vizuálně jednotlivé předvalky, kde kontrolují různé povrchové vady, jako jsou přeložky, praskliny a případně apretace. Pracovníci technické kontroly dále kontrolují dodací listy s požadavky společnosti, zda souhlasí chemické složení, hmotnosti apod. Tyto požadavky, jsou dány

evropskými případně jinými normami. Mezi nejčastější normy, dle kterých probíhá výroba železničních náprav patří EN 13261 [3], AAR-M-101-90 [4].

Po takto provedené kontrole jsou předvalky skladovány na skladě a uvolněny k výrobě.



Obr. 1 Skladovací prostory předvalků.

2.1.2. Ohřev materiálu

K ohřevu vstupního materiálu slouží kroková ohřívací pec **obr. 2**. Do pece se sází cca 40ks bloků u větších rozměrů je třeba brát v potaz delší dobu náhřevu a maximální zatížení nístěje pece, podle těchto kritérií jsou v peci různé mezery mezi jednotlivými kroky dopravníku. Jako médium pro hořáky je používán degazační nebo zemní plyn. Pec je vybavena automatickou regulací teploty, tzn. hořáky se zapalují nezávisle a termočlánky v peci přenášejí teplotu do ovládacího panelu pece, ten určuje, který hořák, v jaký moment zapálí. Pec obsahuje čtyři zóny, kde první zóna není vyhřívána a zbylé tři, mají po stranách plynové hořáky. Teplota je nastavená dle předepsané technologické normy. Nastavená teplota může být maximálně 1320 °C. [5]

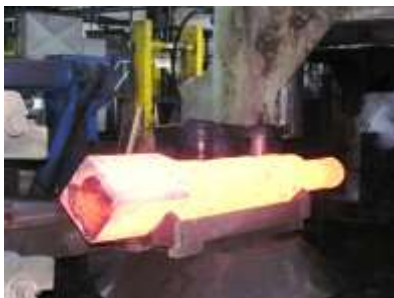


Obr. 2 Kroková ohřívací pec.

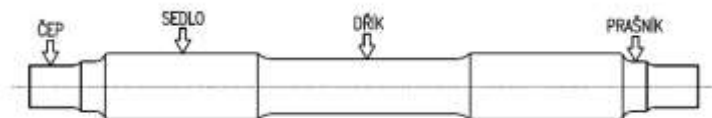
2.1.3. Kování náprav

Jako další operace ve výrobě je kování surových náprav. Pro zajištění co nejvyšší jakosti povrchu je před kovacím lisem umístěno zařízení na odstranění okují. Toto zařízení má za úkol odstranit v co největší míře, oxidy železa na povrchu, tedy primární okuje. Hlavní částí zařízení pro odstraňování okují je pohyblivý ostřikový věnec, který je osázen vysokotlakými tryskami, pomocí kterých jsou okuje odstraněny. Předvalek po odokujnění je dále dopravován válečkovým dopravníkem ke kovacímu lisu. Po uchopení materiálu do čelisti manipulátoru, začíná operace kování. V praxi se nedoporučuje začít kovat nápravu z materiálu, který je déle než 4 minuty mimo ohřívací pec, z důvodů rizika nízké dokovací teploty. Nejnižší teplota nápravy po vykování by neměla podkročit 850 °C. [6] Tato teplota je měřena pyrometrem umístěným v lince kovacího lisu a je zobrazována do kabiny předního kováře.

Kování náprav se provádí na kovacím lise CKN 800, který byl vyroben ve společnosti ŽĐAS. Jedná se o hydraulický kovací lis o jmenovité síle 8 MN s počtem hladicích zdvihů 100 – 110 za minutu. Lis včetně manipulátoru ovládá operátor pomocí ovládacího panelu s monitorem, a to v ručním, poloautomatickém či automatickém režimu. Ofukování okují při samotném kování probíhá pomocí stlačeného vzduchu. Technologie kování probíhá překováním čtvercového průřezu na průřez kruhový, asi 2/3 délky bloku. Proběhne výměna kovadel, probíhá kování čepu a prašníku na první straně nápravy. Takto překovaný blok je umístěn na točnu, kde je výkovek otočen **obr. 3**. Následně probíhá překování čtvercového průřezu zbytku bloku na průřez kruhový. Následně je vykován po celé délce průměr sedla, což je část nápravy s největším průměrem. Při tomhle kování se horní a spodní zápustka dotýká styčnými plochami. Každý kovací postup má určené typy kovadel dle průměru tzn. při dotyku styčných ploch je zajištěn přesný průměr který je požadován. Při dokování průměru sedla proběhne výměna sady kovadel, lis disponuje třemi sadami kovadel. Po automatické výměně další sady je vykován průměr ve středu nápravy tzn. dřík. Čep a prašník na druhé straně nápravy jsou vykovány jako poslední operace. Popis jednotlivých částí surové nápravy je uveden na **obr. 4**. Na přesnosti kování, stavu a kvalitě kovadel závisí kvalita vyrobených surových náprav.[2]



Obr. 3 Překování 2/3 délky bloku.



Obr. 4 Schéma železniční nápravy.

2.1.4. Pálení konců náprav, značení

Vykovaná náprava po otočení na točně je dopravena válečkovým dopravníkem a tlačkou na stůl kyslíkového řezacího stroje MESSER. Na **obr. 5** můžeme vidět právě vykovanou nápravu s technologickými přídávky na koncích nápravy. Operátor si předem nastaví pravítko, které je součástí pálicího stroje, odměří si hrany sedel, či prašníku a následně upálí přebytečný materiál. Po upálení má náprava předepsanou délku určenou technologem. Pálicí stroj je napojen na zemní plyn a centrální rozvod kyslíku. Po upálení obou přídávků na koncích náprav je náprava dopravena na válečkovém dopravníku k razicímu zařízení. Operátor pálicího zařízení také obsluhuje razicí zařízení.



Obr. 5 Pálicí stroj MESSER.

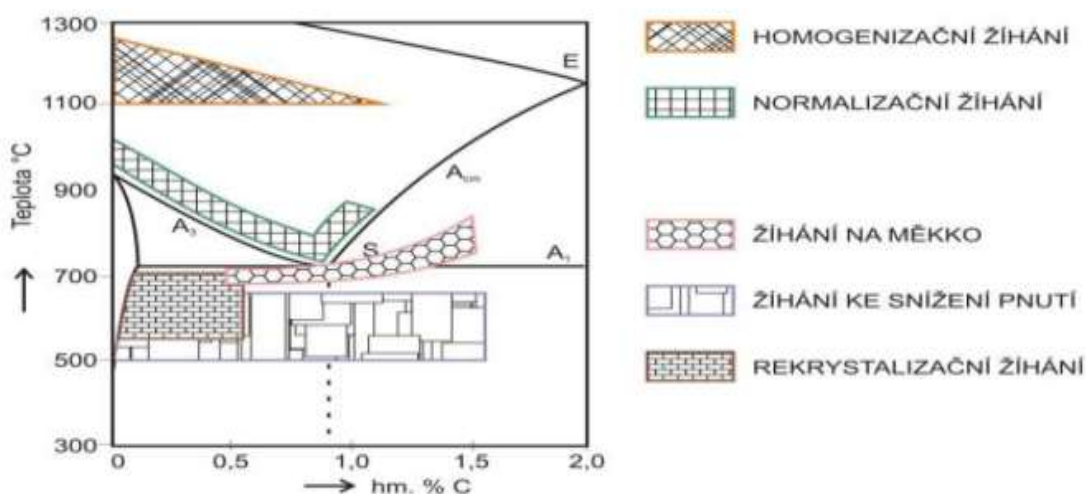
Razicí zařízení na **obr. 6**, složí k označení surových náprav za tepla, díky kterého je každá náprava sledovatelná po celou dobu její výroby. Náprava je pomocí vzduchového válce umístěna na prizmata, díky kterým je ražení umístěno vždy dle požadavků uprostřed čepu nápravy. Jako první je naraženo číslo tavby společně s kovací postupem – tento údaj je pro celou dávku vždy stejný proto jsou v hlavě ražení umístěné raznice, které se při výrobě daného kovacího postupu nemění. Následuje ražení pořadového čísla, pomocí hlavy, která má revolverový zásobník s raznicemi a tyto raznice si vždy natočí tak, aby byl každý vyrobený kus označen jedinečným číslem.



Obr. 6 Razicí zařízení surových náprav.

2.1.5. Tepelné zpracování železničních náprav

Nápravy z důvodu rozrušení struktury turbulentní deformací po kování, musí minimálně jednu hodinu pomalu chladnou na chladicím dopravníku za značícím zařízením. Surové nápravy pokračují na chladicím dopravníku směrem ke vstupu krokových žíhacích pecí. Na základě požadavků zákazníka, dle platných norem jsou nápravy normalizačně žíhány, kaleny a následně popouštěny. Dle americké normy AAR M 101 [4] může zákazník požadovat násobné tepelné zpracování, jako je dvojitý normalizační žíhání, nebo normalizační žíhání s následným kalením a popouštěním. Úkolem tepelného zpracování náprav je především zjemnění mikrostruktury, vznik nových struktur uhlíku, snížení úrovně zbytkových napětí, zvýšení pevnosti či houževnatosti. Definování tepelného režimu je jeden z nejdůležitějších postupů, který vede k tomu, aby byly splněny požadavky zákazníka, respektive normy, dle kterých jsou nápravy vyráběny. Určení teplotního režimu normalizačního žíhání probíhá na základě chemického složení dle diagramu Fe – Fe₃C viz **obr. 7**. Délky pobytu v jednotlivých zónách jsou závislé na rozměrech nápravy a její hmotnosti. [7]



Obr. 7 Žíhací teploty v diagramu Fe – Fe₃C [8].

Dle diagramu Fe-Fe₃C **obr. 7** by teoreticky měla být kritická teplota transformace A₁ rovna 723°C a teplota A₃ v rozmezí 810-830°C. V oceli jsou však obsaženy rovněž další doprovodné prvky, které ovlivňují polohu eutektoidního bodu a kinetiku krystalizace, jako jsou mangan, chrom, křemík, nikl a další. V Literatuře můžeme dohledat mnoho způsobu výpočtů teploty A_{c1} a A_{c3}. Způsoby výpočtů se liší v poměrech jednotlivých doprovodných prvků. Každý výrobce proto používá jiný způsob, který je pro jeho technologii výroby nejvhodnější.

➤ *Výpočet dle největšího světového sdružení inženýrů a vědců ASM International [9]:*

$$A_{c1} \pm 11,5[^\circ\text{C}] = 723 - 20,7(\%\text{Mn}) - 16,9(\%\text{Ni}) + 29,1(\%\text{Si}) - 16,9(\%\text{Cr}) \quad (1)$$

$$A_{c3} \pm 16,7[^\circ\text{C}] = 910 - 203\sqrt{\%\text{C}} - 15,2(\%\text{Ni}) + 44,7(\%\text{Si}) + 104(\%\text{V}) + 31,5(\%\text{Mo}) \quad (2)$$

➤ *Výpočet dle Trzaska [10]:*

$$A_{c1}[^\circ\text{C}] = 739 - 22,8(\%\text{C}) - 6,8(\%\text{Mn}) + 18,2(\%\text{Si}) + 11,7(\%\text{Cr}) - 15(\%\text{Ni}) - \\ - 6,4(\%\text{Mo}) - 5(\%\text{V}) - 28(\%\text{Cu}) \quad (3)$$

$$A_{c3}[^\circ\text{C}] = 937,3 - 224,5\sqrt{\%\text{C}} - 17(\%\text{Mn}) + 34(\%\text{Si}) - 14(\%\text{Ni}) + 21,6(\%\text{Mo}) + \\ + 41,8(\%\text{V}) - 20(\%\text{Cu}) \quad (4)$$

➤ *Výpočet dle Kunitake a Katou [11]:*

$$A_{c1}[^\circ\text{C}] = 754,83 - 32,25(\%\text{C}) - 17,76(\%\text{Mn}) + 23,32(\%\text{Si}) + 17,3(\%\text{Cr}) + 4,51(\%\text{Mo}) + \\ + 15,62(\%\text{V}) \quad (5)$$

$$A_{c3}[^\circ\text{C}] = 920,21 - 394,75(\%\text{C}) - 14,40(\%\text{Mn}) + 54,99(\%\text{Si}) + 5,77(\%\text{Cr}) + \\ + 24,49(\%\text{Mo}) + 83,37(\%\text{V}) \quad (6)$$

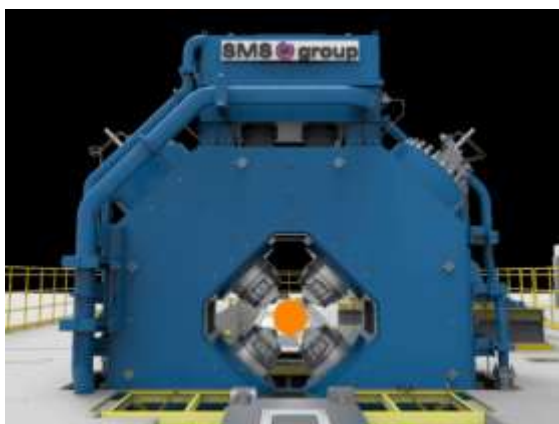
Pomocí těchto výpočtů jde s určitou chybou získat kritické rekrystalizační teploty, které zahrnují vliv legujících přísad a tím zpřesnit návrh tepelného zpracování.

2.2. Tuzemská a světová výroba železničních náprav

2.2.1. Výroba železničních náprav v ČR

➤ *Vítkovice Heavy Machinery a.s.*

Další společnost mimo společnost Bonatrans Group a.s., která se zabývá výrobou železničních náprav je Vítkovice Heavy Machinery a.s. Avšak společnost směřuje své portfolio výroby k mnohem větším výrobkům, a to v řádově desítkách tun těžkých (klikové hřídele lodních motorů, hřídele větrných elektráren apod.). I přes toto široké spektrum výroby nemá společnost problém s výrobou železničních náprav. Vítkovice Heavy Machinery vyrábí železniční nápravy pomocí radiálního rychlokovacího lisu **obr. 8**. Na **obr. 9** lze vidět reálně umístěný radiální lis v hale. Náhřev kontislitků či ingotů probíhá v karuselové peci. Pro sázení i vyjímání vstupního materiálu slouží manipulátor, který po ohřevu na tvářecí teplotu pokládá vstupní materiál na válečkový dopravník. Materiál je dopraven k manipulátoru. Železniční nápravy jsou kovány v násobných délkách, a to jako dvojnásobky, trojnásobky či čtyřnásobky. K eliminaci pokřivení náprav při kování dlouhých výkovků disponují Vítkovice dvěma manipulátory. Nástroje kovacího lisu jsou z nástrojové oceli třídy 19 [12], na kterou navažují speciální žáruvzdorný a oteruvzdorný materiál díky, kterého mají kovádla vyšší životnost. Kovadla mají speciální tvar, díky kterého tvoří daný průměr nápravy dle míry sevření. Délka kovadel je 600 mm – minimální délka dříku, či čepu mezi nápravami je daných 600 mm. Tepelné zpracování probíhá v peci s výjezdnou nístějí. Při kování tří nebo čtyřnásobku délky nápravy je nutné nápravy krátit na dvojnásobky, a to z důvodů rozměru peci tepelného zpracování. [13]



Obr. 8 Radiální rychlokovací lis SMS [13].



Obr. 9 Rychlokovací lis SMS MEER [13].

2.2.2. Světová výroba železničních náprav

➤ *Rail Wheel Factory*

V 70.letech se na indických železnicích nastala situace, kdy přední výrobci železničních kol a náprav Tata Iron & Steel (TISCO) a Durgapur Steel Plant (DSP) nebyli schopni naplnit požadavky indických železnic. První zmíněný podnik TISCO nebyl schopen dále plnit technické stále se zpříšňující podmínky norem a zákazníku a produkce nových typů kol a náprav byla přerušena. Druhý z hlavních výrobců dokázal jen částečně uspokojit potřeby indických železnic. Vysoká cena dovozu, zpoždování dodávek negativně ovlivnilo výrobu a údržbu kolejových vozidel. V této souvislosti ministerstvo železnice požadovalo studii o nejnovějších technologiích výroby železničních dvojkolí a potřebovala zaplnit díru v indické produkci kolejových vozidel. S nabídkou přišla americká společnost Griffin wheel CO, USA přičemž vznikla společnost Rail wheel factory. Společnost Griffin wheel ročně produkuje přes 1,5 mil. železničních kol přišla s nabídkou tlakového lití kol s kombinací kované železniční nápravy. Technologie odlévání kol je výhodnější z oblasti produktivity a nižšími náklady. Nevýhodou jsou mechanické vlastnosti, které jsou řádově nižší, proto normy nepovolují takto odlévaná železniční kola provozovat v osobní dopravě. V roce 1978 byl schválený projekt továrny, v roce 1983 začala zkušební výroba. Železniční nápravy jsou vyráběny technologií volného kování na hydraulickém kovacím lise společnosti GFM **obr.10**. [14]



Obr. 10 Kovací lis a manipulátor ve společnosti RWF [14].

2.2.3. Příčné klínové válcování železničních náprav

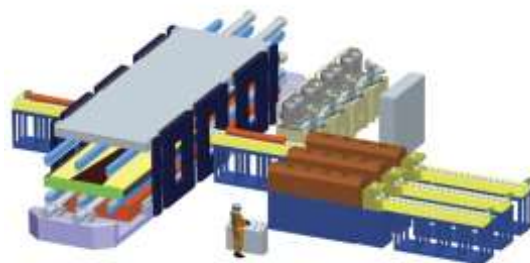
Běžně se železniční nápravy vyrábějí technologií volného kování na kovacích lisech, případně na radiálních kovacích lisech. Produktivita výroby je vyšší na radiálních kovacích lisech, jelikož tyto lisy jsou schopné vyrábět dvě, tři případně i čtyři nápravy z jednoho polotovaru na jeden ohřev. Ještě produktivnější je výroba železničních náprav technologií klínového válcování. Klínové válcování se používá pro menší rotační výrobky, proto železniční nápravy s běžnými rozměry 2200 mm délky a průměry sedel 220 mm případně čepu 150 mm nebyly v minulosti touto technologií vyráběny. [15]

S rostoucími požadavky trhu již existují společnosti, které vyrábí železniční nápravy příčným klínovým válcováním. Tato technologie výroby přináší výhody zejména v materiálových přídavicích surové nápravy oproti nápravě opracované, dále mnohem vyšší životnost tvářecích nástrojů – u kovadel se bavíme o životnosti cca 1000 ks, v případě nástrojů válcovacího stroje se pohybujeme okolo 50 000 ks. Neposlední výhodou válcovacího stroje je pořizovací cena, která je nižší oproti radiálnímu kovacímu lisu. Hlavní nevýhodou válcovaných železničních náprav je, že vlivem jiné napjatosti, než při volném kování se často při příčném válcování tvoří osová dutina. Na **obr. 11** je pohled na pracovní prostor pro výrobu železničních náprav. Na **obr. 12** lze vidět pohled na celou linku válcovacího zařízení. [15]

Mezi hlavní výhody kovaných železničních náprav patří vysoká přesnost opakování, vysoká spolehlivost – výsledná struktura a mechanické vlastnosti oceli, automatická změna kovadel pro kování rozdílných průměrů. [16]



Obr. 11 Pracovní prostor klínového válcování [15].



Obr. 12 Válcovací linka náprav [15].

2.3. Stupeň prokování

Pro získání optimální struktury kované oceli je důležitým ukazatelem stupeň prokování, který je vyjadřován poměrem počátečního průřezu vstupního materiálu nejčastěji plynule odlitého kontislitku nebo ingotu, ke konečnému průřezu výkovku. Stupeň deformace je při kování v průřezu výkovku nerovnoměrný. Pro stanovení vlivu prokování na mechanické vlastnosti výkovku, lze vycházet z faktu, který na nerovnost deformace nebere ohled. Bylo dokázáno experimentálními pokusy, že při zvolení vhodné technologie a běžných stupňů prokování je nerovnost deformace poměrně malá. [17]

Stupeň prokování je bez jednotková veličina, minimální stupeň prokování železničních náprav pro evropsky trh je 3, který zaručuje požadované vlastnosti. Vyšší stupeň prokování požadují například indické dráhy – 4. Základní výpočet stupně prokování volného kování, který nebere zřetel na prodloužení výkovku lze vyčíst z rovnice (7) a stupeň deformace v rovnici (8) [18].

$$p = \frac{S_0}{S_k} \quad (7)$$

$$\varepsilon = (S_0 - S_k)/S_0 * 100 [\%] \quad (8)$$

Kde p je stupeň prokování, ε je stupeň deformace [%], S_0 je počáteční průřez kontislitku či ingotu, S_k je konečný průřez výkovku.

2.4. Vznik a odstranění okují

2.4.1. Vznik okují

Ohřev vstupního materiálu probíhá ve vysokoteplotní peci. Konkrétně ve firmě Bonatrans Group a.s. se jedná o krokovou ohřívací pec. Materiál je potřeba ohřát na horní tvářecí teplotu. Při ohřevu na kovací teploty v plynových ohřívacích pecích s oxidační atmosférou dochází vždy k oxidaci povrchu materiálu – vznik propalu okují. Vznik propalu je reakce exotermická, při níž vzniká z 1 kg železa množství tepla viz níže. [6]

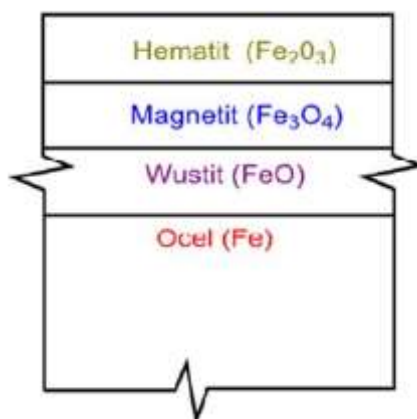
- Při tvorbě Fe_2O_3 vzniká 1520 – 1790 kcal/kg.
- Při tvorbě Fe_3O_4 vzniká 1385 – 1585 kcal/kg.
- Při tvorbě FeO – vzniká 1150 – 1195 kcal/kg.

Z důvodů působení kyslíku, oxidu uhličitého a vodní páry se na povrchu vstupního materiálu vytvářejí tři oxidy: wüstit FeO , magnetit Fe_3O_4 , hematit Fe_2O_3 . Tyto oxidy jsou zastoupeny ve třech typech okují (primární, sekundární, terciální). Primární okuje

jsou tvořeny v první fázi zpracování oceli při ohřevu materiálu na kovací teploty. Sekundární okuje navazují na primární a začínají se tvořit při vytažení materiálu z pecní atmosféry na vzduch. Z důvodu doby pobytu materiálu na vzduchu před samotným kovááním jsou sekundární okuje významně menší, maximální tloušťka 100 μm , než okuje primární, které se pohybují okolo 2,5% hmotnosti vstupního materiálu v závislosti na teplotě a času v peci. Terciální okuje vznikají v konečném procesu kováání. [19]

Růst okují v peci je difúzní pochod, při kterém železo difunduje oxidační vrstvou k povrchu, a naopak oxidy difundují z povrchu materiálu do středu. [19]

Vnitřní vrstva okují je tvořena wüstitem, střední magnetitem a vrchní vrstvu tvoří hematit **obr. 13**. Přítomnost okují působí nepříznivě z důvodů většího opotřebení kovadel, nepříznivě ovlivňuje rozměry a jakost povrchu výkovku – zakováním okuji do povrchu. [19]



Obr. 13 Chemické složení okují [19].

Růst okují je neodlučitelná reakce, která je spojena s výrobou a zpracováním oceli. Růst okují je závislý na mnoha faktorech jako jsou pecní atmosféra, chemické složení oceli a v neposlední řadě dle Davida T. Blazevice je růst okují značený W/A závislý na teplotě a čase. Tyto dvě fyzikální veličiny jsou zahrnuty ve vzorci růstu okují (9). [19]

$$W/A = K * t^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Kde K je funkcí teploty [$^{\circ}\text{C}$] a t značí čas [s]. Faktor K mění růst okují odpovídající změnám teploty ve výrobním procesu a je možno jej získat měřením nebo extrapolací v různých teplotách.

2.4.2. Odstranění okují

S ohledem na jakost povrchu je jeden z nejdůležitějších postupů před tvářením kovů odstranění primárních okují. Mezi základní způsoby odokujení patří mechanické, hydraulické a chemické odstranění okují. Způsob odokujení závisí na výrobní fázi, kde se výrobek právě nachází. Hydraulické a mechanické odokujení se používá při první fázi procesu po vytažení materiálu z pece. Chemické odstranění okují se používá až na konci výrobní fáze, kdy už výrobek nedosahuje tak vysokých teplot. Sekundární, případně špatně odstraněné primární okuje jsou odstraňovány také při samotném kování, a to stlačeným vzduchem.

2.5. Zmetkovitost na kovárně železničních náprav v Bonatrans Group a.s.

2.5.1. Problematika zmetkovitosti

Při kování železničních náprav může vzniknout celá řada okolností a vlivů, které vedou ke vzniku vad. Zmetkovitost výroby můžeme chápat jako procento vykovaných náprav, při kterém jsou vady tak velkého rozsahu, že je nutností tyto nápravy pozastavit nebo vyřadit z výroby. Tyto nápravy jsou následně předloženy ke zmetkovému řízení a po schválení technologem, jsou nápravy vyřazeny do ocelového odpadu.

2.5.2. Popis vad

Ve firmě Bonatrans a.s. jsou vady určovány dle třídníku vad. Třídník vad obsahuje veškeré vady, které se mohou objevit při výrobě železničních náprav například při reklamaci vstupního materiálu, kování náprav až po finální povrchové úpravy. Jedná se o nápravy, které nesplňují požadavky zákazníka. [20]

Přehled kovárenských vad ve společnosti Bonatrans Group a.s. je uveden v **tab. 1**.

Tab. 1 Třídník kovárenských vad [20].

Třídník kovárenských vad	
ZK32	Kovárenská přeložka (vady povrchové)
ZK35	Otlaky od okují (vady povrchové)
ZK39	Ostatní vady povrchů
ZK42	Přesazení (vady tvarové a rozměrové)
ZK45	Nedodržení délek
ZK49	Jiné tvarové a rozměrové vady
ZK50	Nevyhovující tepelné zpracování
ZK51	Nevyhovující tep. zprac. (nezaviněno obsl.)

2.5.3. Příčiny vzniku vad a pozastavení výrobku

Možnosti pozastavení výroby probíhá při:

- Rozměrové, vizuální kontrole, bezprostředně po kování (za tepla).
- Rozměrové, vizuální kontrole, před opracováním (za studena).
- Vizuální, magnetické, ultrazvukové kontrole, při a po opracování.

Rozměrová kontrola bezprostředně po kování

Při nevhodném nabudování špatného typu tvarových kovadel, může dojít k vykování špatného průměru nápravy. Tuto skutečnost odhalí přední kovář, při proměřování prvního vykovaneho kusu. Skutečný rozměr kovář konzultuje s technickým úsekem a ten rozhodne, zda může náprava pokračovat ve výrobě nebo bude vyřazena z výroby.

Při kování prvního kusu přední kovář nastavuje délky, aby byly dosažené rozměry dle kovacího postupu. Tyto délky následně ukládá do programu kování. V případě špatného spočítání a následném nastavení manipulátoru, kovář vykově špatné délky, které rovněž odhalí při měření prvního kusu viz **obr. 14** a musí hodnoty v programu upravit tak, aby odpovídaly kovacímu postupu. Špatné délky jsou rovněž konzultovány s technologií a je postupováno stejně, jako v případě špatně vykovanych průměrů náprav.



Obr. 14 Proměření délek surové nápravy za tepla

Vizuální kontrola po kování

V detailním technickém popisu práce předního kováře je nutností proměřit první kus výroby a dále průběžně během výroby proměřit průměry, délky a v neposlední řadě provádět vizuální kontrolu. Při vizuální kontrole lze odhalit povrchové praskliny, zakované okraje, nedodržení kruhového průřezu. Všechny tyto skutečnosti mohou vést k následné zvýšené zmetkovitosti a je nutné je ihned řešit.

Vizuální kontrola před opracováním

Vizuální kontrola slouží k odhalení povrchových vad, které vznikly při kování. Nejčastěji takto odhalené vady jsou otlaky od okují případně kovárenské přeložky. Tyto a jiné tvarové vady jsou za přítomnosti technologa vybrušovány, proměřeny a porovnány s reálnými přídávky na opracování – na základě výsledku jsou nápravy uvolněny do dalších kroků výroby. V opačném případě jsou pozastaveny, případně vyřazeny z výroby.

Rozměrová kontrola před opracováním

Před předáním surových náprav na opracování je nezbytná rozměrová kontrola. Při této kontrole probíhá proměření všech průměrů a délek nápravy pomocí kalibrovaných měřidel a následně porovnání naměřených rozměrů s kovacím postupem. Na **obr. 15** můžeme vidět proměření průměru čepu nápravy za posuvným měřidlem před předáním na opracování. V případě naměřených rozměrů mimo toleranci jsou nápravy pozastaveny ve výrobě a předloženy komisi k zmetkovému řízení.



Obr. 15 Proměření čepu nápravy

Vizuální kontrola po opracování

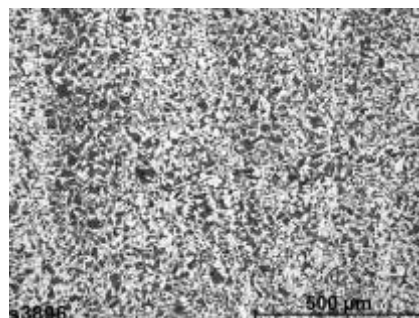
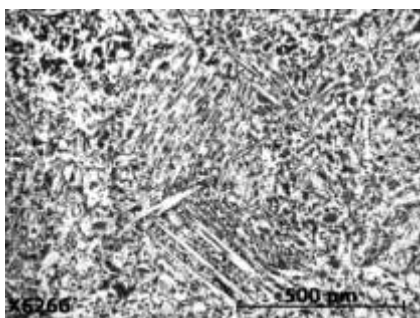
Před předáním opracované nápravy na oddělení technické kontroly, kdy už je náprava opracována na požadovaný rozměr zákazníka probíhá vizuální kontrola. Při této kontrole dochází k odhalení kovárenských vad jako jsou surové fleky (nedodržení délek, křivost), otlaky od okují či viditelné kovárenské přeložky a praskliny. V případě výskytu vad je nutné tyto nápravy rovněž pozastavit ve výrobě a předložit k zmetkovému řízení.

Magnetická kontrola po opracování

Jelikož je nemožné pouze vizuální kontrolou odhalit veškeré kovárenské vady, jako jsou nejčastěji malé kovárenské přeložky či praskliny, probíhá na každé opracované nápravě nedestruktivní zkoušení magnetickou defektoskopií. Při této kontrole jsou odhaleny veškeré vady povrchu.

Zkouška ultrazvukem po opracování

Zkouška, která probíhá na každé opracované nápravě je nedestruktivní zkoušení pomocí ultrazvuku. Jedná se o zkoušení, při kterém jsou odhaleny vnitřní vady, necelistvost případně nehomogennost, které bývají důvodem k reklamaci dodavateli oceli. Případná nevyhovující zkouška ultrazvukem může mít také za příčinu nevyhovující tepelné zpracování. V takovém případě vysokého útlumu je nutné provést destruktivní zkoušení a provést analýzu struktury. U většiny takto nevyhovujících náprav se jedná o zrna jehlicovitého tvaru Widmannstättenovy struktury (**obr. 16**), které jsou jednolitá a tepelným zpracováním se nerozpadly na zrna rovnoosého – polyedrického masivního feritu. Pro porovnání lze vidět na **obr. 17** strukturu 200x zvětšenou s vyhovujícím jemným zrnem.



Obr. 16 Widmanstättanova mikrostruktura [21]. **Obr. 17** Mikrostruktura po normalizaci [21].

2.5.4. Přehled nejčastějších vad

Mezi tři nejčastější vady při volném kování železničních náprav patří:

Otlaky od okují

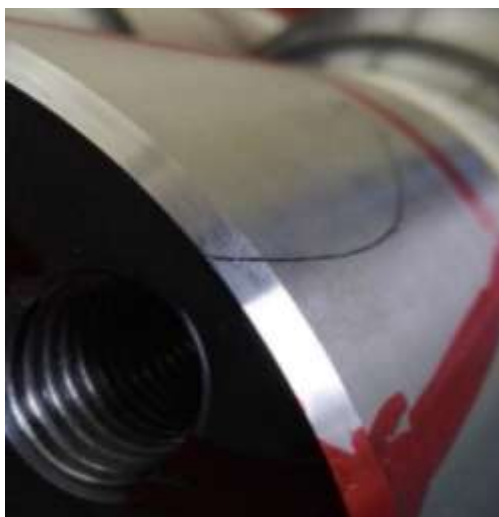
Vada otlaky od okují je zapříčiněna nedostatečným odstraněním okují před samotným kováním. Odstranění okují probíhá bezprostředně po vytažení materiálu z pece a snahou je odstranění nejsilnější vrstvy okují – primární okuje. Při nedostatečném odstranění těchto okují nastává skutečnost zakování okují do povrchu surové nápravy. Takto zakované okuje následně vypadnou při tryskání náprav, či opracování a zanechají tvarovou vadu na povrchu nápravy - **obr. 18**.



Obr. 18 Otlaky od okují.

Kovárenská přeložka

Tato vada vzniká při kování a je nejčastěji zapříčiněna nekvalitním povrchem kovaného materiálu, nedodržováním technologického postupu při kování, nedostatečným náhřevem vstupního materiálu nebo technickým stavem strojního zařízení. Z důvodů mnoha příčin vzniku, patří tato vada k nejčastějším vadám při volném kování železničních náprav. Kovárenské přeložky jsou zakovány do různé hloubky povrchu a záleží na reálném přídavku na opracování, zda tyto vady budou odstraněny při opracování. V opačném případě zůstávají přeložky na opracovaném povrchu, jako je vidět na **obr. 19** a jsou odhaleny obsluhou po opracování, případně na magnetické zkoušce. Následně jsou nápravy předloženy zmetkovému řízení a jsou vyřazeny do ocelového odpadu.



Obr. 19 Kovárenská přeložka.

Nedodržení délek při kování

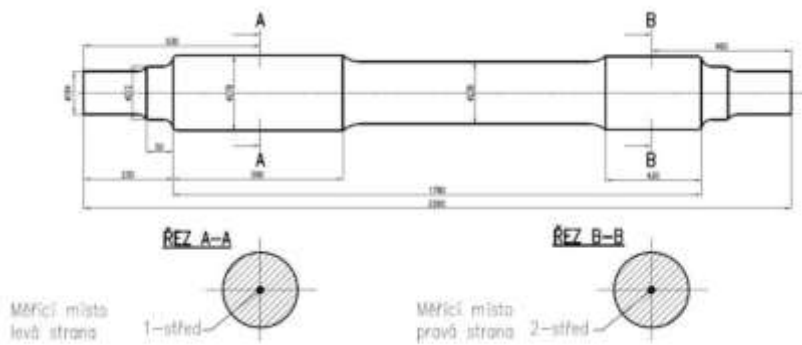
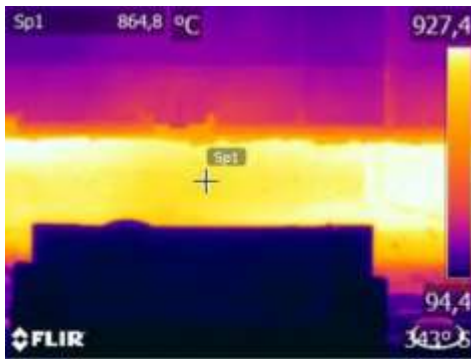
Nejčastějšími příčinami nedodržení předepsaných technologických délek vykovaných náprav jsou nedostatek materiálu polotovaru dodávaného ocelárnou, nedodržení technologických postupů při kování a špatné nastavení zařízení a následné špatné upálení konců náprav.

3. CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem této práce je analyzovat a eliminovat možné příčiny vzniku vad, při volném kování a následném tepelném zpracování železničních náprav.

Experimentální část se skládá ze dvou jednotlivých částí práce, kdy první část má cíl snížit četnost vady *otlaků od okují*, při výrobě železničních náprav ve společnosti GHH-Bonatrans a.s., a tím zvýšit efektivitu výroby. Druhá část se zabývá, proměřením krokové žihací pece s cílem předcházet vzniku vady *nevyhovující tepelné zpracování*. Tato vada vzniká nejčastěji neúplným ohřevem na požadovanou teplotu v celém průřezu nápravy. K eliminaci, či úplnému předcházení této vady, proběhlo proměření reálného ohřevu nápravy ve středech největších průřezu.

Jelikož je tato vada spjatá s ohřevem při normalizačním žíháním, jedná se tedy o ohřev do oblasti austenitu. Pro určení teploty přeměny feritu a perlitu na austenit, konkrétně tedy teploty A_{c1} a A_{c3} byly vypočteny jednak na základě dosazení chemického složení do vybraných parametrických rovnic, které se k výpočtu těchto transformačních teplot u příslušných náprav běžně používají. Tak navíc byly tyto teploty vypočteny podle simulačního programu QTSteel, který ovšem primárně slouží pro simulaci ochlazovacích procesů.



4.1.2. Průběh měření

Zkušební ohřev nápravy probíhal za normálního provozu během normalizačního žíhání náprav. V okamžiku nasazení nápravy na první pozici krokového mechanismu pece, byl spuštěn záznam teploty s cyklem 60 - ti vteřin a byl nastaven příslušný režim pro normalizační žíhání, který byl vypočten na základě znalosti chemického složení oceli EA1N [3]. V **tab. 2** lze vidět maximální hmotnostní procenta jednotlivých prvků dle EN 13261 [3] a rozměru železniční nápravy.

Tab. 2 Mezní hodnoty chemické analýzy dle EN 13261 [3].

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V
max[hm%]	0,40	0,50	1,20	0,020	0,020	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06

Parametry ohřevu, zůstaly po celou dobu experimentu konstantní. V jednotlivých topných zónách pece byly nastavené na tyto hodnoty:

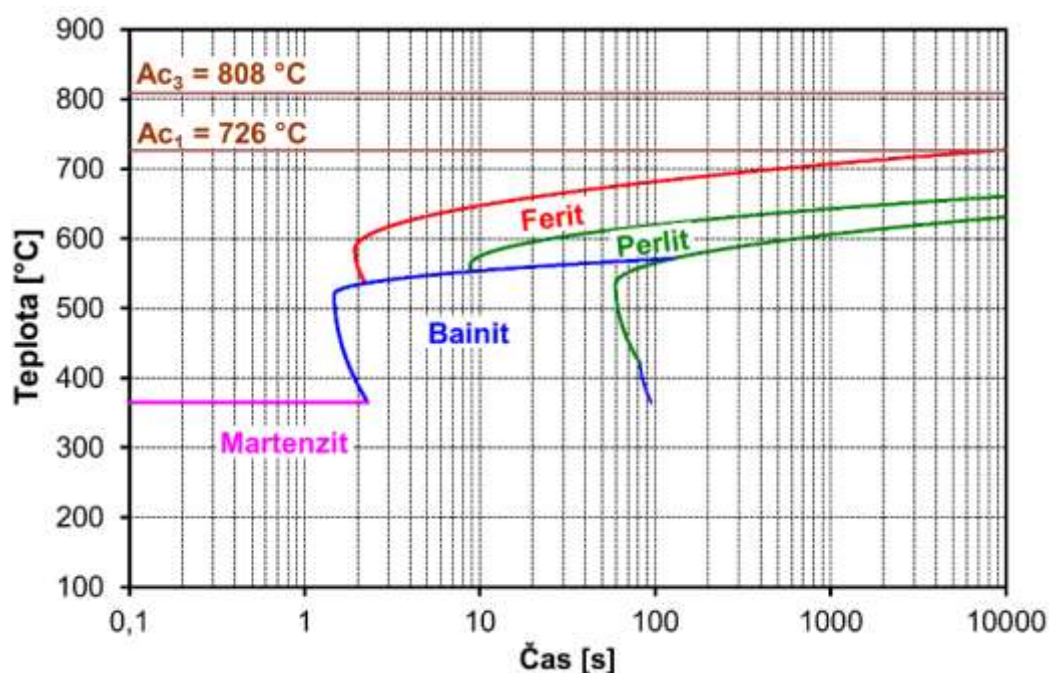
- 1. zóna T1 – 820 °C
- 2. zóna T2 – 860 °C
- 3. zóna T3 – 880 °C
- 4. zóna T4 – 880 °C
- 5. zóna T5 – 880 °C

Po 445 min. byl ohřev zkušební nápravy ukončen. Náprava byla po vytažení proměřena termokamerou a následovně byla z válečkového dopravníku přemístěna na odstavné stanoviště vedle krokové pece, kde zůstala až do svého úplného vychladnutí.

4.1.3. Určení teploty A_{c1} , A_{c3} pomocí programu QTSteel

Jako další metoda určení kritických teplot A_{c1} , A_{c3} byla vypočítána pomocí programu QTSteel 3.2., který byl vyvinut českou firmou ITA, spol. s r. o. Výpočtové programy pracují tak, aby zjednodušily práci technologům, kteří se zabývají tepelným zpracováním. Programy umí nasimulovat kalení, popouštění, finální strukturu, rychlost ochlazování a v neposlední kritické teploty A_{c1} , A_{c3} , či vytvoření ARA diagramu. Na základě vstupních dat, které jsou chemické složení oceli, typ tělesa a jeho počáteční teplotu, podmínky ochlazování program QTSteel sestaví ARA diagram **obr. 22**, určí přechodné křivky jednotlivých mikrostruktur jako jsou austenit, ferit, perlit, bainit a martenzit. [23]

Teploty vypočtené simulací v programu QTSteel byly $A_{c1} = 726$ °C, $A_{c3} = 808$ °C.



Obr. 22 ARA diagram, simulace QTSteel.

4.1.4. Experimentální zařízení

Popis žíhací pece č. 1

Jedná se o krokovou žíhací pec o vnitřních rozměrech 3,2 x 18 m, která je určena k tepelnému zpracování náprav o průměru 110 až 305 mm a délce 1415 – 2690 mm z konstrukčních a legovaných ocelí. Vstupní teplota náprav je 18 až 600 °C. Nápravy lze tepelně zpracovávat minimálně hodinu po vykování, popřípadě zpracovat nápravy ze skladu, které mají vstupní teplotu okolí. Jmenovitý výkon pece je 5,28 t/hod. Pec je průběžná s posuvem vsázky pomocí krokového mechanismu tvořeného pevnou nístějí a pohyblivým středovým mostem. Obvody pevných i pohyblivých mostů jsou olemovány odlitky žáruvzdorné oceli, které fixují polohu náprav, během průchodu pecí. Krok pohyblivého mostu je tvořen čtyřmi po sobě navazujícími pohyby (dva vodorovné a dva svislé). Pohyby jsou zajištěny přímočarými hydromotory, které jsou zásobované tlakovým olejem ze samostatného hydraulického agregátu. [22]

Teplotní čidla

Pro záznam teplot byly použity dva termočlánky typu K o průměru pláště 3 mm a délce 25 m s přechodovou pružinou pro větší mechanickou odolnost (měřicí rozsah – 200 až + 1372 °C).

Registrační zařízení

Záznam signálů od obou čidel se prováděl přes napojené kompenzační vedení a vstupní svorky do interní paměti obrazovkového zapisovače Grant Squirrel SQ2040 Wi-Fi. Během experimentu se registrace měřených dat na obou navolených termočláňkových prováděla v pevném ukládacím cyklu, který činil 60 sekund.

Termokamera

FLIR T420 je termokamera vyšší střední třídy s rozlišením senzoru 320×240 a teplotní citlivostí (NETD) $0,04 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Parametry a funkce: např. ergonomicky naklopitelný objektiv s detektorem, autofokus, motorizované ostření, teplotní rozsah až do $2500 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Termokamera je plně kompatibilní se softwarem FLIR TOOLS s možností profesionální analýzy jednotlivých snímků a tvorby jednoduchých i rozsáhlých protokolů.

4.2. Inovace hydraulického odokujňovacího zařízení

4.2.1. Původní odstraňování okují

Společnost Bonatrans Group a.s. disponovala na úseku kovárny náprav mechanickým a hydraulickým odokujovačem. Mechanické zařízení na odstranění okují mělo za úkol odstranit, případně narušit nejsilnější vrstvu primárních okují pomocí hřídelů osazených řetězy. Následně předvlek pokračoval do hydraulického odokujovače, kde byly okuje odstraněny pomocí vysokého tlaku vody.

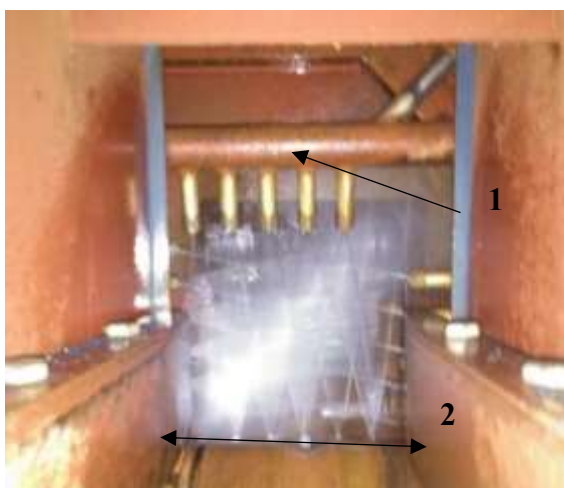
Tyto způsoby odstranění okují ve firmě jsou zavedeny již od 60. let minulého století a účinnost odstranění okují byla stále nižší, což se projevovalo ve zvýšené zmetkovitosti zapříčiněno zakováním okují do povrchu náprav. Vada ZK35 viz (**tab.1**) se stala nejčtenější vadou roku 2016. Hydraulické zařízení na odstranění okují se skládá z čerpadla, případně multiplikátoru, který vyvíjí potřebný tlak kapaliny, dále z potrubí, které dopravuje vodu do trysek. Nejpoužívanější trysky jsou tzv. ploché odkujovací trysky. Mezi základní nastavení trysek dle J. W. Fricka patří úhel natočení trysky, šířka stopy trysky, rozložení tlaku atd. Tyto parametry mají vliv na konečnou účinnost odokujení, a tedy na konečnou jakost povrchu. [24]

4.2.2. Konstrukční úpravy nového odokujení

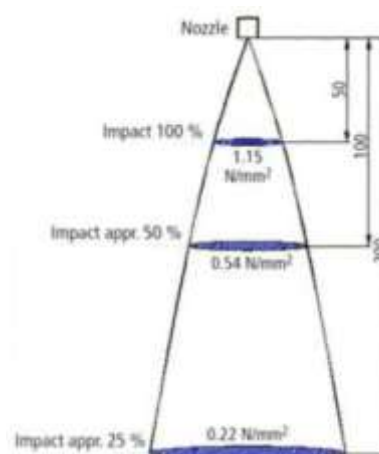
Na **obr. 23** můžeme vidět vnitřní pohled nového zařízení pro odstraňování okují. Mezi hlavní inovace patří pohyblivý věnec osázený tryskami (**pozice 1**), který lze nastavit přesně dle aktuálního sortimentu. Druhá zásadní inovace spočívá v nabudování vodítek (**pozice 2**), která navádí předvalek přesně do středu zařízení, je tedy zaručena stejná vzdálenost vysokotlakých trysek od povrchu odokujňovaného materiálu. Tato vzdálenost nám určuje *impact*. Impaktní tlak lze spočítat podle Newtonova zákona (10), kde se *impact* rovná podílu síly na ostříkovanou plochu. Sílu můžeme rozložit na jednotlivé složky, které sílu ovlivňují [25]. Velmi významnou roli také hraje výška trysky od povrchu, protože přímo ovlivňuje šířku ostříku a tím mění i plochu [26]. Vliv výšky na impaktní tlak lze vyčíst z **obr. 24**.

$$impact = \frac{k * Q * p^{0,5}}{S} \quad (10)$$

Kde k je konstantou, Q je průtokem tryskou [l/min], p je tlakem v systému [MPa] a S je plocha na niž paprsek dopadá [m²]. Znamená to, že počítáme s průměrnou hodnotou tlaku, rozloženého po celé počítané ploše. V realitě není toto rozložení tak rovnoměrné a maximální hodnoty skutečného impaktního tlaku přesahují hodnoty vypočtené.



Obr. 23 Paprsky hydraulického odokujovače .



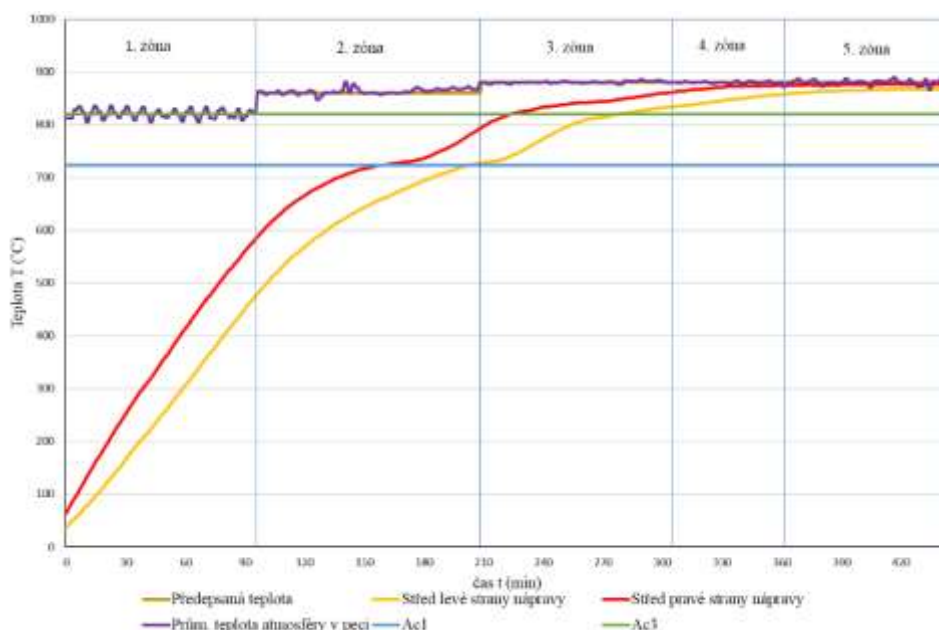
Obr. 24 Vliv výšky na impaktní tlak. [26]

5. DISKUZE VÝSLEDKŮ

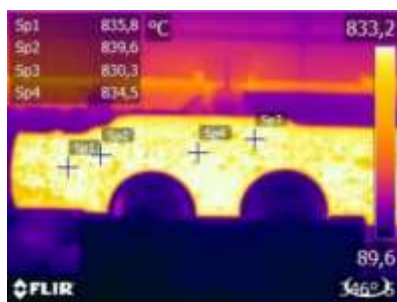
5.1. Vyhodnocení a porovnání výsledků při měření teplot železničních náprav

Po ukončení provozního experimentu se naměřená data z vnitřní paměti zapisovače načetla na flash disk. Jednoduchým překopírováním této tabulky přes schránku do prostředí tabulkového procesoru Excel jsem vytvořil základ pro interpretaci naměřených výsledků jednak ve formě tabulky a následně ve formě diagramů jako časové průběhy teplot na obou měřených místech.

Vývoj teplot v obou středech nápravy při ohřevu na žíhací teplotu je znázorněna na **obr. 25**. V grafu je vykreslen časový průběh teplotních změn během celého pobytu měřené nápravy v peci. Naměřené výsledky byly uspořádány do tabulky, kde je v minutových časových intervalech zdokumentován vývoj měřených teplot v číselných hodnotách po celou dobu experimentu, zlomek tabulky viz **tab. 3**. Výdrž nad teplotou A_{c3} v minutách je obsažena v **tab. 4**. Na **obr. 26 až 28** je u jednotlivých termo snímků uvedena teplota vybraného bodu a povrchu nápravy. Při měření teploty povrchu termokamerou hraje významnou roli nastavení emisivity zařízení a místo určení bodu, ve kterém zařízení proměřuje teplotu, jelikož má náprava na povrchu okuje. Emisivita byla nastavena dle ČSN EN 1993-1-2 [27] - 0,6. Tyto faktory negativně ovlivňují výsledky měření, proto měření povrchu bereme pouze jako informativní údaj. V **tab. 5** je porovnána teplota povrchu s teplotou ve středu nápravy.



Obr. 25 Teplotní průběh při ohřevu zkušební nápravy.



Obr. 26 Teplota povrchu po 5 s.

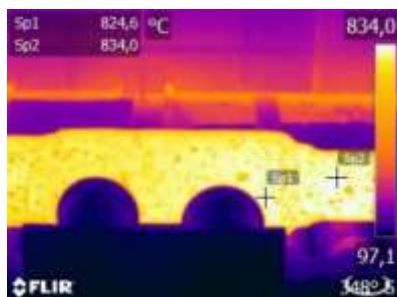
Popis obr. 26

Sp1 – teplota povrchu čepu

Sp2 – teplota povrchu prašníku

Sp3 – teplota povrchu středu sedla

Sp4 – teplota povrchu kraje sedla

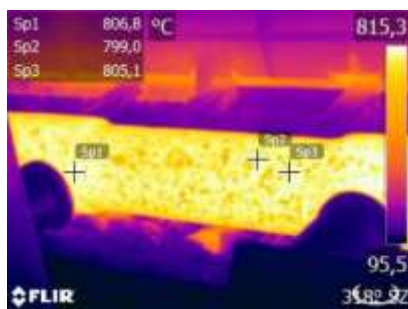


Obr. 27 Teplota povrchu po 10 s.

Popis obr. 27

Sp1 – teplota povrchu sedla

Sp2 – teplota povrchu čepu



Obr. 28 Teplota povrchu po 15 s.

Popis obr. 28

Sp1 – teplota povrchu sedla

Sp2 – teplota povrchu dříku

Sp3 – teplota povrchu dříku

Tab. 3 Výsledky měření pro grafické znázornění.

čas [min]	Zóna	Předpis v peci [°C]	Teplota středu levá strana [°C]	Teplota středu pravá strana [°C]	Průměrná teplota atmosféry v peci [°C]
1	1	820	38,6	64,4	812,8
74	1	820	374,9	485,6	811,3
148	2	860	639,4	714,3	860,5
222	3	880	737,7	817,7	878
294	3	880	828,9	856,6	882,3
360	4	880	857,4	874,5	880,5
444	5	880	867,2	876,7	881,5

Tab. 4 Výdrž nad teplotou A_{c1} , A_{c3} .

Umístění	A_{c1}	A_{c3}
	čas [min]	čas [min]
levá strana	243	166
pravá strana	285	220

Tab. 5 Rozdíl teploty na povrchu a ve středu nápravy.

Čas [s]	Povrch sedlo [°C]	Povrch čep [°C]	Střed levé strany [°C]	Střed pravé strany [°C]
Těsně před výstupem	865	865	867	876
po 5 sekundách	835	836		
po 10 sekundách	824	834		
po 15 sekundách	806	800		

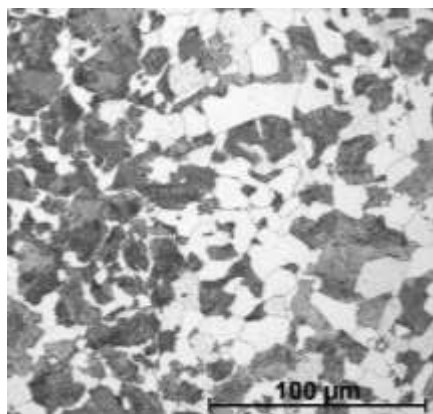
5.2. Austenitizace v celém průřezu nápravy

Experimentálním měřením bylo dokázáno, správné nastavení tepelného režimu. Bylo dokázáno, že ve středech sedel, tedy největšího průměru nápravy proběhla autenitizace v celém průřezu. Na pravé straně, střed vzdálený 460 mm od čela nápravy se dostal na překrystalizační teplotu A_{c1} , která byla vypočtena pomocí rovnice (1), která nejlépe odpovídá z hlediska chemického složení použité oceli na $712 \pm 11,5$ °C po 159 minutách a byl nad touto teplotou 285 minut. Střed největšího průřezu na levé straně, vzdálený 530 mm od čela nápravy se dostal nad teplotu A_{c1} po 201 minutách a setrval nad touto teplotou 243 minut.

Teplota překrystalizace A_{c3} byla vypočtena rovnicí (2) rovněž s nejbližším chemickým složením na hodnotu $803 \pm 16,7$ °C. Nad tuto hodnotu se střed pravé strany nápravy dostal po 224 minutách a setrval nad touto teplotou 220 minut. Střed nápravy levé strany se nad teplotu A_{c3} dostal po 278 minutách a setrval nad touto teplotou 166 minut. Rozdíly v překročení překrystalizačních teplot jsou způsobeny různou délkou sedel náprav. Srovnání teplot obou středů sedel nápravy došlo po 350 minutách.

U normalizačního žíhání je nutností ohřev výrobků na teplotu 30-50 °C nad A_{c3} . Tato podmínka byla splněna po 237 minutách na pravé straně, a po 290 minutách na straně levé.

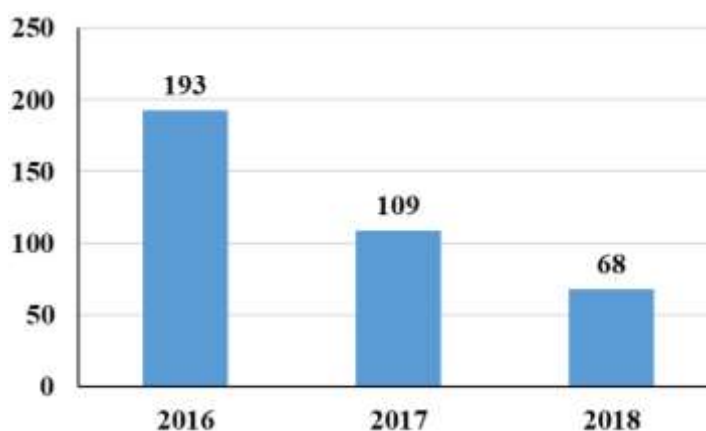
Podmínky autenitizace byly splněny, co se týče vypočtených hodnot, toto tvrzení následně potvrdily destruktivní zkoušky akreditované laboratorní zkušebny, které potvrdily feriticko - perlitickou strukturu s jemným zrnem na **obr. 29**. Vyhovující makrostrukturní leptání v roztoku 10% HNO_3 na **obr. 30** a vyhovující mechanické vlastnosti nápravy.



Obr. 29 Feriticko - perlitická struktura [28]. **Obr. 29** Makrostrukturní leptání oceli [28].

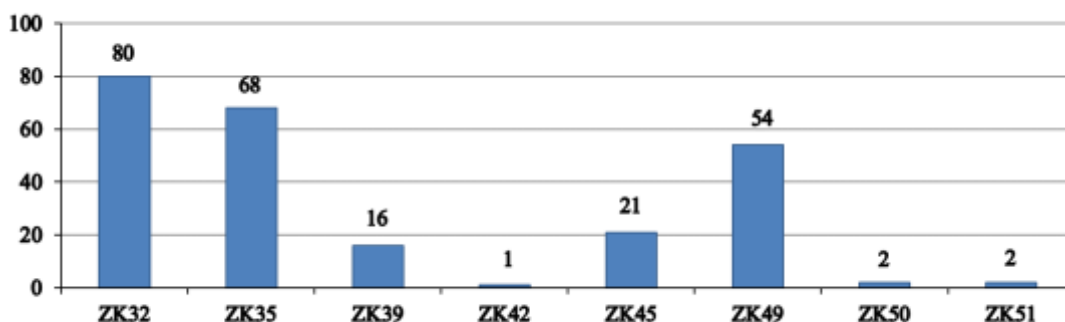
5.3. Snížení zmetkovitosti otlaků od okují

Analýzu zmetkovitosti jsem prováděl tři roky 2016 – 2018. Během této experimentální práce jsem snažil dokázat snížení zmetkovitosti na základě zvýšení účinnosti odokujňovacího zařízení. Nové zařízení bylo instalováno na přelomu roku 2017/2018. Již na výsledcích z roku 2017 je zmetkovitost ovlivněná výměnou zařízení. Snížení vady ZK35 – otlaky od okují lze vidět na grafu níže **obr. 31**. Na základě experimentální práce – inovací hydraulického zařízení k odstranění okují, můžeme říci, že ke snížení zmetkovitosti, konkrétně otlaků od okují je nutností správného odokujnění před tvářením. Inovací odokujňovacího zařízení byl snížen výskyt vady otlaku od okují o 65 procent oproti původnímu stavu. Aktuální zmetkovitost či zmetkovitost v roce 2018 konkrétně 68 ks je zapříčiněna delším náhřevem způsobeným poruchami na trati, kdy odokujení není tak efektivní. Nižší efektivita odokujení povrchu bloku může být z důvodů nevhodného nastavení ostříkového věnce obsluhou. Ovšem při výrobě 50 000 ks surových náprav se jedná o 0,14% výroby.



Obr. 31 Počet náprav vyřazených na vadu ZK35 (otlaky od okují).

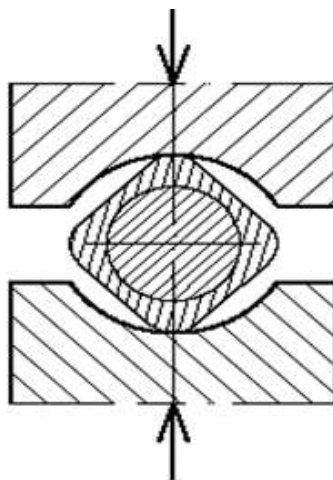
Na **obr. 32** můžeme vidět grafické vyjádření celkové zmetkovitosti v roce 2018 při výrobě železničních náprav volným kováním.



Obr. 30 Analýza celkové zmetkovitosti za rok 2018.

5.4. Další opatření ke snížení zmetkovitosti při výrobě železničních náprav

Ke snížení zmetkovitosti vede mnoho faktorů. Otlaky od okujů lze eliminovat pomocí co nejefektivnějšího zařízení pro odstranění okujů. Nutnost sledovat stav vysokotlakých trysek, tlak vody před vstupem do zařízení. Zvýšením technologické kázně předních kovářů lze snížit vysoké procento celkové zmetkovitosti na kovárně náprav – v případě kování z čtvercových předvalků je nutností překování hran na kruhový průřez **obr. 33** absence této operace vede k vysoké pravděpodobnosti kovárenské přeložky. Dodržením technologických postupů, jako jsou pravidelné proměřování náprav během kování, vede ke snížení rizika nedodržení průměru, či délek. Společnost Bonatrans Group a.s. disponuje upalování konců náprav kyslíkovým pálícím zařízením – nutnost obsluhy správného nastavení odměřování zařízení, v opačném případě pálení krátkých náprav, které již nelze použít a ve mnoha případech se jedná o nepoužitelné nápravy.



Obr. 31 Překování hran předvalku [2].

6. ZÁVĚR

Předmětem předložené bakalářské práce, bylo řešení problematiky odstraňování okují a ověření režimu tepelného zpracování, při průchodu železniční nápravy žíhací peci. Oba řešené problémy byly prováděny za cílem snížení zmetkovitosti, či k úplnému předcházení vzniku vad po tepelném zpracování. Tyto experimenty byly prováděny ve společnosti GHH-Bonatrans Group a.s. s jejím souhlasem.

V prvním experimentu bylo navrženo efektivnější hydraulické odokujnění. Hlavní inovací zařízení spočívá v instalaci naváděcích vodítek a nastavitelného ostřikového věnce. Naváděcí vodítka slouží k navedení předvalku přesně do středu zařízení. Díky kombinaci nastavitelného ostřikového věnce a naváděcích vodítek, lze docílit u veškerého sortimentu různých průřezů předvalků, vždy co nejmenší vzdálenost, mezi vysokotlakými tryskami a odokujovanou plochou, což následně vede k efektivnějšímu odstranění primárních okují.

Ve druhém experimentu, bylo prováděno měření středu největšího průřezu železniční nápravy. Na základě hodnot, získaných z termočlánků, napojených pomocí kompenzačního vedení do záznamového zařízení Grant Squirrel SQ2040 Wi-Fi, které ukládalo v pevném cyklu každých 60 vteřin teplotu středu nápravy, byl vytvořen graf s teplotním průběhem ohřevu. Ze získaných dat ohřevu proběhlo porovnání času, kdy došlo k překročení rekrytalizačních teplot A_{c1} a A_{c3} , které byly vypočteny pomocí rovnice (1) a (2). Toto porovnání sloužilo k ověření průběhu austenitizace v celém průřezu nápravy.

Na základě inovace hydraulického zařízení na odstranění okují, které proběhlo na přelomu roku 2017/2018, byl snížen meziroční výskyt vad zakovaných okují o cca 65 %.

Při druhém experimentu byly porovnány teploty, určené pro tepelný režim daného sortimentu s reálnými teplotami ve středu nápravy. Experiment potvrdil správnost vypočteného modelu tepelného zpracování, dle kterého probíhá určování teplot tepelného zpracování. Díky správnému nastavení teplot, lze předcházet vadě - nevyhovující tepelné zpracování.

Literatura

- [1] BALCÁREK, V. aj. *50 & 10 BONATRANS*. Ostrava: Tiskárna Grafico s.r.o. 2009, 162 s.
- [2] DTP 21-012. *Kovárna náprav, materiálový tok, kontrola a evidence výroby*. Bohumín: BONATRANS GROUP a.s. 2015, 13 s.
- [3] EN 13263;2009+A1:2010. *Railway applications – wheelset and bogies – Axles – Product requirements*. 2010, 57 s.
- [4] AAR M-107/M208.: *Manual of Standards and Recommended Practices section G-II Wheels and Axles Manual*, 2019, 186 s.
- [5] DTP 21-014, *Ohřívací pec předvalků na kovárně náprav*. Bohumín: BONATRANS GROUP a.s. 2015, 9 s.
- [6] HAŠEK, V. a kol., *Kování*, 1. vydání. Praha, 1965. SNTL, 732 s.
- [7] TOTTEN E. GEORGE, *Steel heat treatment metallurgy and technologies*, Vol. 2. Portland, 2006, 832 s.
- [8] VÁŇOVÁ, Petra. *Základy tepelného zpracování*. Studijní opora. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. 2011, 127 s.
- [9] ASM INTERNATIONAL, *Prepared under the direction of the ASM Handbook*, Vol. 4. Ohio, 1991, ISBN 978-087-1703-798, 1012 s.
- [10] TRZASKA, J. et al. Modelling of CCT Diagrams for Engineering and Constructional Steel. *Journal of Materials Processing Technology*. 2007, 192-193, 504-510.
- [11] KINITAKE, T. and KATOU, T. Effect of Various Alloying Elements on Si-Cr-Mo-V Steel. *Tetsu-to-Hagané*. 1964, 666-668.
- [12] ČSN EN 10027-1, *Systémy označování oceli – Stavba značek oceli*, 2005, 28 s.
- [13] Technologie radiálního kování ve společnosti VHM © 2019. [cit. 6.1.2019] Dostupné na <https://www.sms-group.com/plants/all-plants/radial-forging-machines/>.
- [14] Wheel manufacturing process © 2019. [cit. 15.1.2019] Dostupné na <https://rwf.indianrailways.gov.in/works/uploads/files/Misc/Mechanical/Web%20Site%20Updation/RWF%20MANUFACTURING%20PROCESS.pdf>.
- [15] Cross – Wedge rolling railroad wheel axles © 2019 [cit. 5.2.2019] Dostupné na: <https://www.forgemag.com/articles/84655-cross-wedge-rolling-railroad-wheel-axles>.
- [16] SCHULER RAILWAY, *Forging systems for the railway industry*, 20 s.
- [17] GREGER, M., aj. Progresivní technologie volného kování. *Kovárenství*. 5/2017, 58-61.

- [18] Technologie objemového tváření – kování © 2019 [cit. 17.1.2019] Dostupné na:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm.
- [19] D. T. BLAZEVIC, *Hot strip mill operations*, Vol. 5, Sun Lakes, Arizona, 2005, 138 s.
- [20] ON č.13, *Řízení neshodného výrobku*. Bohumín: BONATRANS GROUP a.s. vyd. 13, 2018, 23 s.
- [21] KOVÁŘ, L., *Mikrografický rozbor nápravy s útlumem koncového echa při ultrazvukové zkoušce*. Interní zpráva Bonatrans. 2015, 7 s.
- [22] KAIZAR, L.: *Tepelné zpracování náprav v rekonstruovaných krokových pecích č. 1 a č. 2*. interní materiál firmy BONATRANS 25 s.
- [23] ŠIMEČEK, P. *Program QTSteel 3.2 - uživatelská příručka*. Ostrava: ITA spol. s.r.o., 2012, 36 s.
- [24] J. W. FRICK, More efficient hydraulic descaling header designs, *MPT International* 2/2004, 2004 94-95.
- [25] WOLF, M. M., *Scale formation and descaling in continuous casting and hot rolling*, Iron & steelmaker, 2000, 71 s.
- [26] HORSKÝ, J. et al. *Run-Out Table Cooling* - 1.Upper Conf., 2.Bottom Conf., voestalpine Grobblech. 2009, 115 s.
- [27] EN 1993-1-2 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*, Brusel, 2006, 80 s.
- [28] VOJTKO, M., *Ověření vlastností oceli EAIN*. Interní zpráva Bonatrans. 2019, 24 s.